



杨瑰丽, 杨美娜, 李帅良, 等. 水稻萌芽期抗旱指标筛选与抗旱性综合评价[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(2): 1-5.

水稻萌芽期抗旱指标筛选与抗旱性综合评价

杨瑰丽, 杨美娜, 李帅良, 曲志恒, 黄 明, 陈志强, 王 慧
(国家植物航天育种工程研究中心, 华南农业大学, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】探索干旱胁迫对水稻萌芽期生长的影响, 筛选水稻萌芽期抗旱性指标. 【方法】以粳型、籼型常规稻及空间诱变稳定后代株系等共 62 个水稻品种(系)为试验材料, 利用聚乙二醇(PEG-6000)模拟干旱胁迫, 研究了干旱处理对水稻萌发期芽鞘长、最长根长、芽干质量、根冠比等 8 个形态和生理指标的变化. 利用隶属函数分析方法对所有材料进行综合抗旱能力评价. 【结果和结论】干旱胁迫严重影响了水稻的萌发, 对根长的抑制最明显; 根干物质积累比芽干物质积累受干旱胁迫的抑制更明显. 芽鞘长和最长根长与水稻萌芽期综合抗旱能力极显著相关, 且 2 个指标间无相关性, 适合用作水稻萌发期抗旱鉴定指标. 根据水稻萌发期抗旱性和综合抗旱能力评价, 从 62 个水稻品种(系)中筛选出 14 个高抗旱品种(系), 用于后续抗旱研究.

关键词:水稻; 萌芽期; 干旱胁迫; 聚乙二醇; 抗旱性; 指标筛选
中图分类号:S332.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2015)02-0001-05

Screening and comprehensive evaluation of drought resistance indices of rice at germination stage

YANG Guili, YANG Meina, LI Shuailiang, QU Zhiheng, HUANG Ming, CHEN Zhiqiang, WANG Hui
(National Engineering Research Center of Plant Space Breeding, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】To study the effect of drought stress on rice growth at germination stage and screen rice drought resistance indicators quickly and efficiently. 【Method】Sixty-two rice varieties (lines), including *indica* and *japonica* rice and space-induced mutants, were studied under drought artificially created by PEG-6000. Eight indicators such as shoot length, maximum root length, coleoptile length, root number and shoot dry mass etc. were tested under stressed and control conditions. 【Result and conclusion】Rice germination, especially the root length, was seriously affected by drought stress, and the impact of drought stress on root dry matter accumulation was much greater than that of shoot dry matter accumulation. Two indicators of maximum root length and coleoptile length significantly correlated with the comprehensive drought capability which were suitable for drought resistance screening at rice germination stage. Fourteen out of 62 materials have been identified to be highly drought resistant through dynamic clustering statistics, which will be promising for rice drought resistance breeding.

Key words:rice; germination stage; drought stress; PEG; drought resistance; screening index

收稿日期:2013-10-28 优先出版时间:2015-01-21
优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20150121.0942.015.html>
作者简介:杨瑰丽(1977—),女,助理研究员,博士,E-mail:yanggl@scau.edu.cn;通信作者:王 慧(1965—),女,教授,博士, E-mail:wanghui@scau.edu.cn
基金项目:广东省博士启动基金(S2011040004115, S2012040007829);广东省科技计划项目(2011A020102008);农业部 948 项目(2013-Z67)

水稻 *Oryza sativa* L. 是最主要的粮食作物之一, 全世界超过一半的人口都以稻米为主食^[1]. 水稻生产的耗水量非常大, 约消耗中国淡水资源的 50%, 我国水资源条件很难支撑传统水稻的进一步发展^[2]. 尤其是随着全球气候骤变, 我国旱灾发生的频率和范围也在扩大, 南部和西部地区局部季节性旱灾导致水稻严重减产, 干旱已成为制约我国水稻生产的重要因素^[3]. 培育抗旱水稻品系对于稳定和提高水稻产量有重要的意义. 水稻抗旱品系的培育离不开育种材料抗旱性的科学、有效评价与筛选鉴定. 水稻抗旱性是由多基因控制的复杂数量遗传性状, 抗旱性机制较为复杂^[4-5]. 国内外学者提出了一系列与抗旱性有关的形态、发育、生理与生化等方面的鉴定方法与指标, 如根系、叶片性状、生育期、渗透调节、脱落酸含量等^[6-7]. 但是由于大多数指标的测定工作量较大、周期长并且需要借助一些昂贵的仪器, 成本较高. 水稻萌发期形态指标易于调查和测定、鉴定周期短, 在进行大规模水稻种质抗旱性筛选方面具有一定的优势. 聚乙二醇 (PEG) 作为渗透调节剂被广泛用于筛选和鉴定作物的抗旱性^[8-11]. Blum^[12] 研究表明, PEG 对筛选小麦苗期抗旱性是适用的. 利用 PEG 在筛选小麦、花生等作物苗期抗旱性较好的品种以及耐旱性的甘薯突变体也获得良好的效果^[8, 13-14]. 本试验以粳型、籼型常规稻及空间诱变稳定后代株系等共 62 个水稻品种 (系) 为供试材料, 通过 PEG-6000 模拟干旱胁迫, 研究干旱处理与对照条件下水稻萌芽期 8 个形态和生理指标的差异, 以期筛选出适合于水稻萌发期的抗旱性指标, 初步筛选出具有抗旱育种潜在价值的材料, 为水稻抗旱品种的评价及选育提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 材料

粳型、籼型常规稻及空间诱变稳定后代株系等共 62 个水稻品种 (系).

1.2 试验方法

每个品种 (系) 选取健康饱满种子 100 粒在清水 (30 ℃) 中浸种 1 d 后, 平均分成 2 份, 分别整齐置于相应处理的标准发芽盒 (长 × 宽 × 高 = 12 cm × 12 cm × 5 cm) 中, 盒底垫 3 层滤纸. 其中, 干旱处理发芽盒中倒入 20 mL 的 150 g · L⁻¹ PEG-6000 (−0.28 MPa), 对照处理发芽盒中倒入 20 mL 清水. 将发芽盒均匀置于培养箱 (28 ℃、每天 12 h 光照) 中进行培养. <http://xuebao.scau.edu.cn>

养. 每隔 1 d 调查发芽率; 8 d 后调查芽长、最长根长、芽鞘长、根数、芽干质量、根干质量、根冠比.

1.3 种子萌发指数计算

根据第 2、4、6、8 天的种子萌发率 ($n_2 \sim n_8$) 计算种子萌发指数 (GI), 计算公式为:

$$GI = 1.00n_2 + 0.75n_4 + 0.50n_6 + 0.25n_8.$$

1.4 干旱性评价方法

统计前先求相对值, 以便直观地比较各个品种 (系) 不同测定指标间的差异, 相对值为待测指标在干旱处理条件下数值与对照条件下数值之比. 用 SPSS 软件进行统计分析, 抗旱性评价应用模糊数学中的隶属函数值法, 以芽长、最长根长、芽鞘长、根数、芽干质量、根干质量、根冠比等指标进行综合评价. 隶属函数值法提供了一条在多指标测定的基础上对材料进行综合评价的方法, 让待测样品间抗旱性差异具有可比性, 将它应用于抗旱品种的选择和评价, 更具可靠性和科学性^[15].

隶属函数值 (u_j) 计算公式:

$$u_j = \frac{X_j - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (j = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

式中, X_j 表示第 j 个指标; $X_{\min}$ 表示第 j 个指标的最小值; $X_{\max}$ 表示第 j 个指标的最大值.

权重 (W_j) 计算公式:

$$W_j = \frac{P_j}{\sum_{j=1}^n P_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n), \quad (2)$$

式中, P_j 表示第 j 个综合指标贡献率.

综合抗旱能力 (D) 计算公式:

$$D = \sum_{j=1}^n u_j W_j, \quad (3)$$

式中, u_j 表示第 j 个综合指标的隶属函数, W_j 表示第 j 个权重.

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对水稻萌芽期生长的影响

对所有材料萌芽期 8 个抗旱指标的平均相对值进行分析发现, 除根冠比 (相对值为 1.14) 外, 其他指标所测相对值均小于 1, 表明干旱胁迫严重抑制了水稻萌发. 其中, 最长根长受到干旱胁迫的影响最大, 其平均相对值只有 0.39, 而芽长的平均相对值为 0.71, 表明干旱胁迫对水稻萌发期的抑制主要表现为对根长的抑制. 但根干质量的平均相对值为 0.73, 比芽干质量的平均相对值 (0.67) 高, 且根冠比的平均相对值大于 1, 表明干旱胁迫对芽干质量的积累影响更大; 虽然干旱胁迫抑制根的伸长生长, 但对相同

部位干物质的积累影响相对较小.

2.2 品种间单项指标的差异及相关分析

在所测指标中,除了芽干质量品种间差异不显著($P=0.173$)外,其他单项指标品种间差异均显著($P<0.05$). 这些品种间差异较大的指标对于同一品种的抗旱评价结果迥异,不同单项指标评价结果不同,如品系 W-59 的芽长最大,但其最长根长却相对较低;品系 W-29 的根冠比最大,但其最长根长值却最小. 这表明水稻种子萌发期的抗旱性为复杂的综

合性状,利用单一抗旱指标对水稻抗旱性强弱的评价不够全面.

所有指标间的相关性分析结果(表 1)表明,芽长与根数、萌发指数(GI)以及根干质量与根冠比、GI 之间有极显著的相关($P<0.01$),根冠比与最长根长也存在显著相关性($P<0.05$),表明根冠比主要是受根部的影响. 最长根长与根干质量之间相关不显著($r=0.17,P=0.03$),表明伸长生长与根系的干物质积累没有密切关系.

表 1 水稻萌芽期抗旱指标间的相关系数¹⁾

Tab.1 Related coefficients of drought resistance indicators at rice germination stage

指标	芽长	芽鞘长	最长根长	根数	芽干质量	根干质量	根冠比	GI
芽长	1.00							
芽鞘长	0.11	1.00						
最长根长	-0.04	0.19	1.00					
根数	0.36**	0.05	0.11	1.00				
芽干质量	0.30*	0.17	-0.12	0.19	1.00			
根干质量	0.27*	0.19	0.17	0.14	0.22	1.00		
根冠比	-0.14	0.18	0.26*	-0.04	-0.31*	0.69**	1.00	
GI	0.43**	0.11	-0.04	0.19	0.30*	0.37**	-0.02	1.00

1)“*”、“**”分别表示 0.05、0.01 水平的显著相关.

2.3 各抗旱指标的综合分析及品系抗旱性的综合评价

利用 SPSS 统计软件对不同水稻品种(系)种子萌发期的各个单项抗旱指标进行主成分分析. 因前 5

个新的综合指标(Comprehensive Index,CI)的累计贡献率已经接近 85%(表 2). 因此,选取新的综合指标中的前 5 个代表全部的 8 个指标对待测材料进行抗旱评价.

表 2 水稻萌芽期抗旱性综合指标 CI(x)特征值和特征向量

Tab.2 Characteristic values and vectors of integrated indicators of drought resistance at rice germination stage

主成分	特征值	特征向量								累积贡献率/%
		芽长	芽鞘长	最长根长	根数	芽干质量	根干质量	根冠比	GI	
CI(1)	2.23	0.45	0.27	0.12	0.33	0.34	0.50	0.19	0.46	27.89
CI(2)	1.83	-0.29	0.16	0.37	-0.17	-0.37	0.36	0.65	-0.17	50.78
CI(3)	1.02	0.03	0.38	0.65	0.45	-0.02	-0.33	-0.24	-0.26	63.51
CI(4)	0.96	-0.21	0.71	-0.11	-0.52	0.40	-0.04	-0.09	-0.02	75.48
CI(5)	0.68	0.14	-0.14	0.50	-0.50	-0.23	-0.14	-0.22	0.59	84.03

利用主成分分析的结果分别求出 62 个材料 5 个新的综合指标值;利用公式(1),可以分别得到各个供试材料所有的综合指标的隶属函数值;由公式(2)根据综合指标贡献率的大小(分别为 27.89%、22.89%、23.73%、11.97%、8.55%)得到各综合指标的权重;经计算得 5 个综合指标的权重分别为 0.332、0.272、0.152、0.142、0.102;再由公式(3)计

算得各品种(系)萌发期综合抗旱能力(D)大小. 根据 D 值对各品种(系)种子萌发期抗旱性进行强弱排序,其中 W-39 的 D 值最大(67.75%),表明该品种(系)种子萌发期抗旱性最强;W-55 的 D 值最小为 27.87%. 利用动态聚类最大距离法对 D 值进行聚类分析,将 62 个水稻品种(系)的萌芽期抗旱性分为 3 类:1)高抗品种(系)有 14 个;2)中抗品种(系)有 38 个;(3)敏感品种(系)有 10 个(表 3).

表 3 水稻萌芽期各品种(系)*D* 值及抗旱性综合评价¹⁾

Tab.3 The *D* values and comprehensive appraisal of drought resistance of rice varieties (strains) during germination stage

编号	<i>D</i> /%	编号	<i>D</i> /%	编号	<i>D</i> /%	编号	<i>D</i> /%
W-11	55.90H	W-1	51.10M	W-35	48.00M	W-61	48.50M
W-12	57.58H	W-10	43.33M	W-36	40.43M	W-62	46.28M
W-3	59.46H	W-13	54.14M	W-41	48.27M	W-7	44.24M
W-37	63.49H	W-14	52.75M	W-42	47.75M	W-8	45.19M
W-39	67.75H	W-15	46.78M	W-45	51.12M	W-9	41.98M
W-4	63.26H	W-16	45.77M	W-5	52.62M	S-1	37.13S
W-40	54.81H	W-17	50.49M	W-51	46.62M	W-20	32.13S
W-43	59.11H	W-18	43.68M	W-52	49.21M	W-23	31.54S
W-44	60.38H	W-19	45.32M	W-53	49.70M	W-24	33.72S
W-46	55.68H	W-2	42.77M	W-54	40.53M	W-27	34.47S
W-47	60.09H	W-25	46.72M	W-56	43.94M	W-32	30.84S
W-48	57.94H	W-26	43.39M	W-57	53.80M	W-34	38.33S
W-49	62.40H	W-28	50.72M	W-59	45.16M	W-38	39.74S
W-50	59.04H	W-30	43.60M	W-6	48.52M	W-55	27.85S
R-1	49.94M	W-31	41.51M	W-60	42.88M	W-58	39.27S
R-2	45.46M	W-33	49.10M				

1) 数据后字母为抗旱性综合评价结果,H:高抗,M:中抗,S:敏感.

图 1 为部分水稻品种种子萌发 8 d 后的生长状况. 从图 1 可见,水稻高抗旱品种(系)W-39、W-37 和 W-50 生长受干旱胁迫的影响程度较小,芽鞘长和最长根长与对照差别不明显,对干旱胁迫表现出较高的抗性;中间为中抗品种(系)W-28、W-13和 W-36,其生长受到干旱胁迫较大程度的抑制;敏旱品种(系)W-55、W-24 和 W-32 对干旱胁迫表现极度敏感,芽和根的生长均受到明显的抑制,这与表 3 中的抗旱综合评价结果相符.

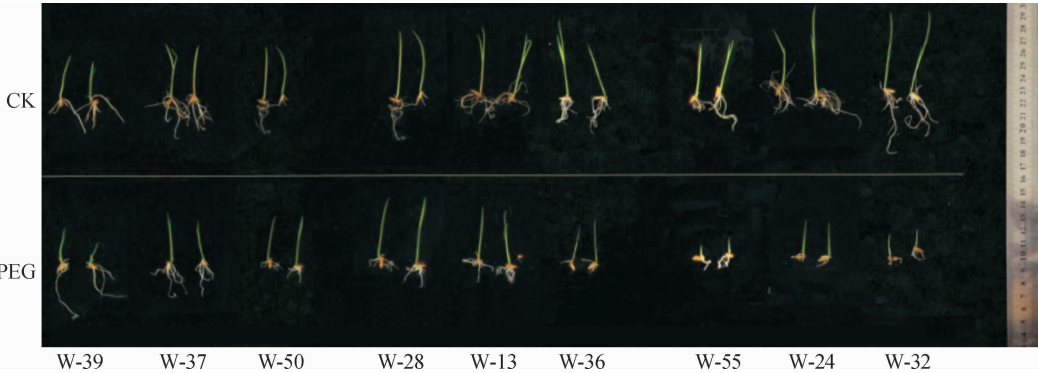


图 1 部分水稻品系的种子萌发后第 8 天的生长状况

Fig.1 Seed germination status of some rice varieties in the 8th day

2.4 不同品种(系)种子萌发期抗旱性鉴定指标的筛选

通过各指标的抗旱系数与*D* 值的相关系数分析筛选能较好地反映不同品种(系)综合抗旱性大小的指标,以便用于大量水稻材料种子萌发期的抗旱性鉴定,以提高抗旱性材料的筛选效率. 结果表明,用于水稻种子萌发期抗旱性综合评价的 8 个单项指标与*D* 值的相关系数各不相同. 芽鞘长、最长根长、根干质量、根冠比和种子萌发指数与*D* 值的相关系数分别为 0.47、0.67、0.78、0.66 和 0.37,均达到极显著相关性($P<0.01$);而芽长、根数和芽干质量与*D* 值的相关系数分别为 0.23、0.16 和 0.14,且均未达到显著水平($P>0.05$). 结合表 1 的结果,芽鞘长与

最长根长 2 个指标相对值相关不显著,其余指标间均有极显著的相关,表明芽鞘长与最长根长 2 个指标相对独立,可以作为水稻萌芽期抗旱性鉴定的综合指标.

3 讨论与结论

水稻的抗旱性是由多基因控制的复杂性状,表现为逃旱性、避旱性、耐旱性和复原抗旱性等多种类型,植株水分胁迫程度容易受到环境因素的影响,使得抗旱性的鉴定存在较高难度. 虽然产量相关性状在水稻抗旱育种中起着重要的作用,但是产量性状的遗传力较低、构成因素较为复杂、鉴定和评价困难、受环境因素影响大^[16],对大批量的筛选较不适

宜,限制了抗旱品种的高效筛选. 水稻萌发期相对于水稻生长的其他时期,其抗旱性鉴定具有历时短、重复性强、容量大、受环境影响小、对植株破坏性小等优点,此时利用渗透调节剂模拟干旱条件进行抗旱鉴定最适宜.

抗旱鉴定指标获得的数据需要转换成更为直观的、适用于评价分级的数值,以利于抗旱鉴定筛选的进行. 通过试验虽然可以获得目的抗旱鉴定指标,但是若只对单个指标进行分析,无法正确得到抗旱性强的水稻品种(系),因为同一基因型植株对于干旱胁迫的响应不同. 因此,必须对抗旱指标进行整理以便综合评价植株的抗旱性. 本研究将各指标测定值转化成具有可比性的相对值进行分析,更能体现抗旱性的内涵,消除了品种间固有差异;同时结合各抗旱鉴定指标的相对值进行主成分分析,剔除贡献率小的指标,利用各综合指标的特征向量进行隶属函数分析,最终评估综合抗旱能力. 利用此评价方法,不仅保证了结果的可靠性,而且使各指标统一为综合抗旱能力(D),结合聚类分析获得抗旱等级评价.

萌发期抗旱鉴定中,一般利用萌发生长指标作为抗旱鉴定的指标^[17]. 王玮等^[18]对113个冬小麦品种(系)进行萌发期抗旱鉴定,发现芽鞘长的鉴定结果比芽长要好,认为芽鞘长用于抗旱鉴定更好. 胡颂平等^[19]研究发现胚芽鞘长度与抗旱系数存在正相关关系. 王贺正等^[20]认为水稻胚芽鞘相对值在一定程度上可从侧面反映其抗旱性大小. 本研究也发现干旱胁迫处理的萌发期种子其胚芽鞘长比正常条件下的要短,且其相对值与综合抗旱能力之间存在极显著的相关性,因此芽鞘长可作为水稻萌芽期抗旱鉴定指标. 同时干旱处理对最长根长的影响明显,最长根长与水稻综合抗旱能力相关显著.

利用水稻萌发期各指标相对值的主成分、隶属函数统计方法对水稻萌芽期抗旱性进行综合评价,鉴定周期短、简便易行. 芽鞘长和最长根长2个指标的相对值与水稻萌芽期的抗旱性显著相关,可作为萌芽期抗旱性鉴定的辅助指标. 当然,作物抗旱性是一个综合特征,可以发生在其生长发育的各个阶段. 水稻各生育时期对水分反应不同,对于干旱胁迫的抗性机制也有差异,本研究筛选的指标是否适于其他生育阶段及全生育期鉴定,有待进一步研究和验证.

参考文献:

- [1] MIURA K, IKEDA M, MATSUBARA A, et al. *OsSPL14* promotes panicle branching and higher grain productivity in rice[J]. *Nat Genet*, 2010, 42: 545-549.
- [2] LUO L. Breeding for water-saving and drought-resistance rice (WDR) in China[J]. *J Exp Bot*, 2010, 61 (13): 3509-3517.
- [3] ZHANG Q. Strategies for developing green super rice[J].

- Proc Natl Acad Sci USA, 2007, 104(42): 16402-16409.
- [4] CATTIVELLI L, RIZZA F, BADECK F, et al. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics[J]. *Field Crops Res*, 2008, 105(1): 1-14.
- [5] ZHANG J, JIA W, YANG J, et al. Role of ABA in integrating plant responses to drought and salt stresses[J]. *Field Crops Res*, 2006, 97(1): 111-119.
- [6] 王贺正, 马均, 李旭毅, 等. 水稻开花期抗旱性鉴定指标的筛选[J]. *作物学报*, 2005, 31(11): 1485-1489.
- [7] 胡标林, 李名迪, 万勇, 等. 东乡普通野生稻全生育期抗旱性鉴定[J]. *作物学报*, 2007, 33(3): 425-432.
- [8] 戴高兴, 彭克勤, 邓国富, 等. 聚乙二醇模拟干旱对耐低钾水稻幼苗的根系生长及某些生理特性的影响[J]. *植物生理学通讯*, 2007, 43(5): 865-868.
- [9] CAPELL T, BASSIE L, CHRISTOU P. Modulation of the polyamine biosynthetic pathway in transgenic rice confers tolerance to drought stress[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2004, 101(26): 9909-9914.
- [10] KATO Y, HIROTSU S, NEMOTO K, et al. Identification of QTLs controlling rice drought tolerance at seedling stage in hydroponic culture[J]. *Euphytica*, 2008, 160(3): 423-430.
- [11] 麦苗苗, 石大兴, 王米力, 等. PEG 处理对连香树种子萌发与芽苗生长的影响[J]. *林业科学*, 2009, 45(10): 94-99.
- [12] BLUM A. An evaluation of seed and seedling drought tolerance screening tests in wheat[J]. *Euphytica*, 1980, 29: 727-736.
- [13] 薛慧勤, 甘信民, 顾淑媛, 等. 花生种子萌发特性和抗旱性关系的高渗溶液法[J]. *中国油料作物学报*, 1997, 19(3): 30-33.
- [14] 王玉萍, 刘庆昌, 李爱贤, 等. 甘薯耐旱突变体的离体筛选与鉴定[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(9): 1000-1005.
- [15] 龚明. 作物抗旱性鉴定方法与指标及其综合评价[J]. *云南农业大学学报*, 1989, 4(1): 73-84.
- [16] 童继平, 吴跃进, 郑乐娅, 等. 水稻超高产育种若干问题的评述与讨论[J]. *种子*, 2003(2): 60-64.
- [17] 原小燕, 符明联, 何晓莹, 等. 不同抗旱性油菜种子萌发期抗旱指标比较研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2012, 30(5): 77-81.
- [18] 王玮, 邹琦, 杨兴洪, 等. 水分胁迫下冬小麦芽鞘长度与抗旱性的关系及其遗传特性的研究[J]. *西北植物学报*, 1997, 17(4): 495-498.
- [19] 胡颂平, 杨华, 邹桂花, 等. 水稻胚芽鞘长度与抗旱性的关系及 QTL 定位[J]. *中国水稻科学*, 2006, 20(1): 19-24.
- [20] 王贺正, 马均, 李旭毅, 等. 水稻种质芽期抗旱性和抗旱性鉴定指标的筛选研究[J]. *西南农业学报*, 2004, 17(5): 594-599.

【责任编辑 周志红】